

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการอบแห้งไม้แปรรูป โดยทำการทดลองอบแห้งไม้แปรรูปแล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนโดยรวม ค่าคงที่ของการอบแห้งจากรูปแบบสมการกึ่งทฤษฎี และเอ็มไพริคัล สร้างสมการทำนายค่าความหนาแน่นจริงของไม้แปรรูป และศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อน และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งที่มีผลต่อเวลาการอบแห้งโดยมีรายละเอียด ดังนี้

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. อุปกรณ์ทดสอบอัตราการอบแห้ง ดังรูป ก.1
2. เครื่องวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ยี่ห้อ Testo รุ่น 175-H2 ดังรูป ก.2
3. เครื่องบันทึกอุณหภูมิแบบ 16 ช่อง ยี่ห้อ Task รุ่น TDLK 001 (Type K) ดังรูป ก.3
4. เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด ± 0.001 กรัม ยี่ห้อ Sartorius รุ่น CP323S ดังรูป ก.4
5. เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด ± 0.001 กิโลกรัม ยี่ห้อ Sartorius รุ่น EA35, EB35 ดังรูป ก.5
6. เครื่องมือวัดความเร็วลม และความดัน ยี่ห้อ TSI รุ่น 8385 – M – GB ดังรูป ก.6
7. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ยี่ห้อ WBT Binder รุ่น FD with R3-Controller ดังรูป ก.7
8. เวอร์เนียร์ ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น Absolute Digimatic ดังรูป ก.8
9. ตะแกรงอบแบบชั้น ดังรูป ก.9
10. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล ยี่ห้อ Kane-May รุ่น KM 330 (Type K) ดังรูป ก.10

3.2 ข้อกำหนดในการทดลอง

1. ใช้ไม้แปรรูปที่มาจากโรงงานอบไม้แปรรูปแหล่งเดียวกัน คือ บริษัททวิพรรณค้าไม้ จำกัด อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่
2. อุณหภูมิลมร้อน 50 , 60 , 70 และ 80 °C ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้ง 30 , 50 และ 70 % ความเร็วลมร้อน 1.0 m/s

3.3 การพัฒนาสมการจลนศาสตร์ของการอบแห้งไม้แปรรูป

3.3.1 การทดลองอัตราการอบแห้งไม้แปรรูป

การเตรียมตัวอย่าง

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ไม้แปรรูป 3 ประเภทในการทดลอง คือ ไม้แดง (ไม้เนื้อแข็ง) ไม้รูกฟ้า (ไม้เนื้อแข็งปานกลาง) และ ไม้สัก (ไม้เนื้ออ่อน) ซึ่งไม้แปรรูปดังกล่าวนี้มาจากโรงงานอบไม้แปรรูปแหล่งเดียวกัน ซึ่งขนาดของไม้แปรรูปที่ใช้ในการทดลองอัตราการอบแห้งนี้มีขนาดความกว้าง 10-11 เซนติเมตร ความยาว 17-18 เซนติเมตร ความหนา 4-5 เซนติเมตร ดังรูป 3.1

การหาความชื้น

นำไม้แปรรูปที่จะไปทำการทดลองอัตราการอบแห้งมาตัดเป็นชิ้นๆ โดยตัดให้ชิ้นตัวอย่างมีขนาด ความกว้าง 4-5 เซนติเมตร ความยาว 10-11 เซนติเมตร ความหนา 1 เซนติเมตร ดังรูป 3.2 หลังจากนั้นนำชิ้นไม้แปรรูปที่ตัดได้ไปชั่งน้ำหนักก่อนอบแห้ง (w) พร้อมบันทึกข้อมูล จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างเข้าตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากการอบนำชิ้นไม้ตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนักแห้ง (d) พร้อมบันทึกข้อมูล แล้วนำข้อมูลน้ำหนักที่บันทึกไว้ทั้งก่อนการอบแห้งและหลังการอบแห้งมาคำนวณหาความชื้น (M_d) ตามสมการที่ (2.2)

วิธีการทดลองเพื่อหาอัตราการอบแห้งของไม้แปรรูป

1. เดินเครื่องทดสอบอัตราการอบแห้งเพื่อให้อุณหภูมิลมร้อนภายในห้องอบแห้งคงที่ที่ $50 \pm 2^{\circ}\text{C}$ และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งให้คงที่ที่ $30 \pm 2\%$ ทำการปรับความเร็วลมร้อนในห้องอบแห้งที่ 1 m/s
2. นำไม้แปรรูปทั้ง 3 ชนิด ชั่งน้ำหนัก และวัดขนาดก่อนการอบแห้ง ทำการบันทึกข้อมูล
3. เมื่ออุณหภูมิลมร้อน และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งคงที่ตามที่กำหนดแล้ว จึงนำไม้แปรรูปทั้ง 3 ชนิด วางในห้องอบแห้ง ดังรูป 3.3 จากนั้นทำการเก็บข้อมูลน้ำหนัก พร้อมทั้งวัดขนาดของไม้แปรรูป ทุก 30 นาที ในช่วง 2 ชั่วโมงแรก ทุก 1 ชั่วโมง ใน 5 ชั่วโมงต่อมา และทุก 5 ชั่วโมง ในเวลาต่อมา จนกระทั่งไม้แปรรูปมีความชื้นสุดท้ายตามที่ต้องการประมาณ 12 %db
4. เก็บข้อมูล อุณหภูมิลมร้อน และความชื้นสัมพัทธ์ก่อนเข้าห้องอบแห้ง พร้อมทั้งเก็บข้อมูลอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ ทุกช่วงเวลาจนถึงสิ้นสุดการทดลอง

5. ทำการทดลองในทำนองเดียวกันนี้ตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 4 แต่เปลี่ยนอุณหภูมิความร้อน เป็น 50,60,70 และ 80 °C พร้อมทั้งเปลี่ยนความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งเป็น 30,50 และ 70% ตามลำดับ แต่ละกระบวนการทำ 3 ซ้ำ รวมทั้งหมด 36 การทดลอง



รูป 3.1 แสดงตัวอย่างไม้แปรรูปทั้ง 3 ประเภทที่ใช้ในการทดลอง



รูป 3.2 แสดงชิ้นตัวอย่างไม้แปรรูปที่นำไปหาความชื้น



รูป 3.3 แสดงการวางไม้แปรรูป ทั้ง 3 ประเภท ในห้องอบแห้ง

3.3.2 การวิเคราะห์สมการการอบแห้ง

การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม (D) รูปแบบสมการจลนศาสตร์ของการอบแห้งทางทฤษฎี

นำผลการทดลองการอบแห้งของไม้แปรรูปทั้ง 3 ประเภท มาวิเคราะห์ด้วยรูปแบบสมการจลนศาสตร์ของการอบแห้งทางทฤษฎี ดังนี้

1. ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ได้แก่ ข้อมูลการลดลงของความชื้น อุณหภูมิความร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้ง อุณหภูมิกระเปาะแห้ง และความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ

2. นำข้อมูลการลดลงของความชื้นมาคำนวณหาอัตราส่วนความชื้น สมการ (2.10)

3. คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมของไม้แปรรูปทั้ง 3 ประเภท ที่เงื่อนไขการอบแห้งต่างๆ ด้วยการนำค่าอัตราส่วนความชื้นที่คำนวณได้ กับเวลาการอบแห้งมาวิเคราะห์สมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด โดยใช้สมการจลนศาสตร์การอบแห้งทางทฤษฎีสมการ (2.9) จำนวน 122 เทอม ซึ่งที่เวลาเริ่มต้น ($t = 0$) วัสดุจะมีค่าอัตราส่วนความชื้น (MR) เท่ากับ 0.940 จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมของแต่ละตัวอย่างที่แต่ละสถานะการทดลอง (แสดงการวิเคราะห์ในภาคผนวก ง)

4. นำค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมที่คำนวณได้จาก ข้อ 3 มาวิเคราะห์ความแปรปรวน โดย ANOVA Analysis (แสดงการวิเคราะห์ในภาคผนวก ง) เพื่อดูว่าอุณหภูมิความร้อนและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งเป็นตัวแปรที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม

5. นำค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมที่คำนวณได้จาก ข้อ 3 มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับอุณหภูมิลมร้อน และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้ง ในรูปแบบสมการโพลิโนเมียล สมการ (3.1) และรูปแบบสมการของ Arrhenius สมการ (2.11) โดยให้ Arrhenius Factor (D_0) เป็นฟังก์ชันกับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งในรูปแบบสมการโพลิโนเมียล สมการ (3.2) โดยการวิเคราะห์สมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด

$$D = a_1 + a_2RH + a_3RH^2 + a_4T + a_5TRH + a_6TRH^2 + a_7T^2 + a_8RHT^2 + a_9T^2RH^2 \quad (3.1)$$

$$D = (b_1 + b_2RH + b_3RH^2) \exp[-E_a/RT_{abs}] \quad (3.2)$$

การวิเคราะห์หาค่าคงที่การอบแห้งของสมการจลนศาสตร์การอบแห้งแบบ กึ่งทฤษฎี (k) นำผลการทดลองอัตราการอบแห้งของไม้แปรรูป ทั้ง 3 ประเภท มาวิเคราะห์ด้วยรูปแบบสมการจลนศาสตร์ของการอบแห้งกึ่งทฤษฎี ได้ดังนี้

1. ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ได้แก่ ข้อมูลการลดลงของความชื้น อุณหภูมิลมร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้ง อุณหภูมิกระเปาะแห้ง และความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ
2. นำข้อมูลการลดลงของความชื้นมาคำนวณหาอัตราส่วนความชื้น ดังสมการ (2.10)
3. นำค่าอัตราส่วนความชื้นกับเวลาการอบแห้งไม้แปรรูป ทั้ง 3 ประเภท มาวิเคราะห์สมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดโดยใช้สมการจลนศาสตร์ของการอบแห้งกึ่งทฤษฎี สมการ (2.17) ซึ่งจะได้ค่าคงที่การอบแห้ง (k) ที่แต่ละสภาวะการทดลอง (แสดงการวิเคราะห์ในภาคผนวก ง)
4. นำค่าคงที่การอบแห้ง (k) ที่คำนวณได้จาก ข้อ 3 มาวิเคราะห์ความแปรปรวน โดย ANOVA Analysis เพื่อดูว่าอุณหภูมิลมร้อน และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งเป็นตัวแปรที่มีผลต่อค่าคงที่การอบแห้ง

5. นำค่าคงที่การอบแห้ง (k) ที่คำนวณได้จาก ข้อ 3 มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับอุณหภูมิลมร้อน และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้ง ในรูปแบบสมการโพลิโนเมียล สมการ (3.3) และรูปแบบสมการเอกโพเนนเชียล สมการ (3.4) โดยการวิเคราะห์สมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด

$$k = c_1 + c_2RH + c_3RH^2 + c_4T + c_5TRH + c_6TRH^2 + c_7T^2 + c_8RHT^2 + c_9T^2RH^2 \quad (3.3)$$

$$k = [d_1 \exp(d_2T)][d_3 \exp(d_4RH)] \quad (3.4)$$

การวิเคราะห์หาค่าคงที่การอบแห้งของสมการจลนศาสตร์การอบแห้งแบบเอ็มไพริกัล รูปแบบสมการของ Page (C) และรูปแบบสมการของ Hendersan & Pabis (B)

นำผลการทดลองการอบแห้งของไม้แปรรูป ทั้ง 3 ประเภท มาวิเคราะห์ด้วยรูปแบบสมการจลนศาสตร์ของการอบแห้งแบบเอ็มไพริกัล ได้ดังนี้

1. ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ได้แก่ ข้อมูลการลดลงของความชื้น อุณหภูมิความร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้ง อุณหภูมิกระเปาะแห้ง และความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ
2. นำข้อมูลการลดลงของความชื้นมาคำนวณหาอัตราส่วนความชื้น ดังสมการ (2.10)
3. นำค่าอัตราส่วนความชื้นกับเวลาการอบแห้งไม้แปรรูป ทั้ง 3 ประเภท มาวิเคราะห์สมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดโดยใช้สมการจลนศาสตร์ของการอบแห้งแบบเอ็มไพริกัล รูปแบบสมการของ page (1949) สมการ (2.21) และสมการของ Henderson&Pabis (1969) สมการ (2.22) ซึ่งจะได้ค่าคงที่การอบแห้งรูปแบบสมการของ Page (1949) และรูปแบบสมการของ Henderson&Pabis (1969) ที่แต่ละสภาวะการทดลอง (แสดงการวิเคราะห์ในภาคผนวก ก)
4. นำค่าคงที่การอบแห้งแบบเอ็มไพริกัลของแต่ละรูปแบบสมการ ที่คำนวณได้จาก ข้อ 3 มาวิเคราะห์ความแปรปรวน โดย ANOVA Analysis เพื่อคว้าอุณหภูมิความร้อน และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งเป็นตัวแปรที่มีผลต่อค่าคงที่การอบแห้ง
5. นำค่าคงที่การอบแห้งแบบเอ็มไพริกัลของแต่ละรูปแบบสมการ ที่คำนวณได้จาก ข้อ 3 มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับอุณหภูมิความร้อน และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้ง ในรูปแบบสมการโพลิโนเมียล สมการ (3.5) , (3.7) และรูปแบบสมการเอกโพเนนเชียล สมการ (3.6) , (3.8) โดยการวิเคราะห์สมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด

$$C = e_1 + e_2 RH + e_3 RH^2 + e_4 T + e_5 TRH + e_6 TRH^2 + e_7 T^2 + e_8 RHT^2 + e_9 T^2 RH^2 \quad (3.5)$$

$$C = [f_1 \exp(f_2 T)] [f_3 \exp(f_4 RH)] \quad (3.6)$$

$$B = g_1 + g_2 RH + g_3 RH^2 + g_4 T + g_5 TRH + g_6 TRH^2 + g_7 T^2 + g_8 RHT^2 + g_9 T^2 RH^2 \quad (3.7)$$

$$B = [h_1 \exp(h_2 T)] [h_3 \exp(h_4 RH)] \quad (3.8)$$

3.4 การพัฒนาสมการค่าความหนาแน่นจริงของไม้แปรรูป (True Density)

3.4.1 การทดลอง

1. นำไม้แปรรูป ทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ ไม้แดง ความชื้นประมาณ 18 %db. ไม้รักฟ้า ความชื้นประมาณ 18 %db. และไม้สัก ความชื้นประมาณ 24 %db. จำนวนอย่างละ 3 ท่อน มาวัดขนาดความกว้าง ความยาว ความหนา และชั่งน้ำหนักไม้แปรรูปก่อนนำเข้าห้องอบแห้ง

2. นำไม้แปรรูป ทั้ง 3 ประเภท เข้าห้องอบแห้ง ทั้งนี้ตลอดช่วงการทดลองทำการวัดขนาดความกว้าง ความยาว ความหนา และชั่งน้ำหนักไม้แปรรูปจนกระทั่งไม้แปรรูปมีความชื้นสุดท้ายตามที่ต้องการ ประมาณ 12%db.

3.4.2 การวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นจริง

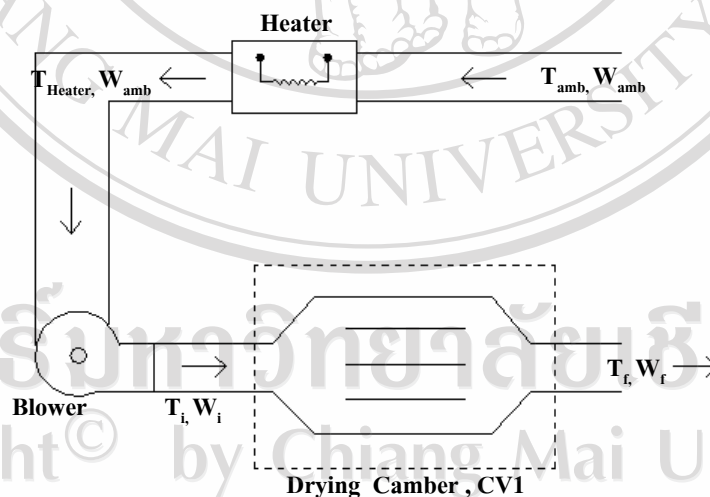
1. นำข้อมูลขนาดความกว้าง ความยาว ความหนา ของไม้แปรรูป ทั้ง 3 ประเภท ที่ได้จากการวัดขนาดในแต่ละช่วงเวลามาทำการคำนวณหาปริมาตรของไม้แปรรูป

2. ในการวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นจริง นำน้ำหนักของไม้แปรรูป ทั้ง 3 ประเภท ที่บันทึกไว้ในแต่ละช่วงเวลามาหารด้วยปริมาตรของไม้แปรรูป จะได้ค่าความหนาแน่นจริงที่แต่ละความชื้น

3. จากนั้นนำค่าความหนาแน่นจริงที่คำนวณได้ในข้อ 2 มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความหนาแน่นกับความชื้น ในรูปแบบสมการเส้นตรง สมการ (3.9) ด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด

$$\rho = i_1 + i_2 M_{db} \quad (3.9)$$

3.5 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งไม้แปรรูป



รูป 3.4 แสดงรายละเอียดของเครื่องอบแห้ง

วีรศักดิ์ (2546) ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งลำไยทั้งลูก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบมีการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่

งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยนำแบบจำลองของ วีรศักดิ์(2546) มาแก้ไขเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อใช้ในการจำลองสภาพการอบแห้งไม้แปรรูป มีขั้นตอนการคำนวณตามแผนผังรูป 3.5 โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งแบบใกล้เคียงสมดุล ซึ่งแบ่งเป็นแบบจำลองของห้องอบแห้ง (ปริมาตรควบคุมที่ 1, CV1) ดังรูป 3.4 และกำหนดข้อสมมติฐานของแบบจำลอง ดังนี้ (ในงานวิจัยนี้จะไม่คำนึงถึงความเปลี่ยนแปลงพลังงาน)

1. สมดุลทางความร้อนระหว่างอากาศชื้นและไม้แปรรูป
2. ไม่มีสมดุลทางความร้อนระหว่างอากาศชื้นและไม้แปรรูป
3. มีการหุ้มฉนวนที่ผนังของเครื่องอบแห้งอย่างดี
4. ไม่มีการอัดตัวของอากาศชื้น
5. อุณหภูมิเริ่มต้นของไม้แปรรูปและเครื่องอบแห้งเท่ากับอุณหภูมิอบแห้ง

แบบจำลองการอบแห้ง ซึ่งประกอบไปด้วยแบบจำลองย่อย 3 แบบจำลอง คือ แบบจำลองคุณสมบัติของอากาศชื้นที่ทางเข้าห้องอบแห้ง แบบจำลองที่ชั้นอบแห้ง และแบบจำลองคุณสมบัติของอากาศที่ทางออกของชั้นอบแห้ง โดยเมื่อพิจารณาที่ (CV1) สามารถหาอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้งหาได้จากสมการ (3.10)

$$\dot{m}_a = \rho A v \quad (3.10)$$

เมื่อ $\dot{m}_a$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, $\text{kg}_{\text{dry air}}/\text{h}$

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m^3

A คือ พื้นที่หน้าตัดหน้าห้องอบแห้ง, m^2

v คือ ความเร็วของอากาศหน้าห้องอบแห้ง, m/s

ทำสมดุลมวลของชั้นอบแห้งแล้วใช้สมมูลมวลที่ปริมาตรควบคุมของชั้นอบแห้งจะได้ว่า มวลของน้ำที่เพิ่มขึ้นในอากาศชื้นเท่ากับมวลของน้ำที่ระเหยออกจากไม้แปรรูป สามารถเขียนได้ดังสมการ (3.11)

$$\Delta t m_a (W_f - W_i) = m_p (M_i - M_f)$$

หรือ

$$W_f = [m_p (M_i - M_f) / (\Delta t m_a)] + W_i \quad (3.11)$$

เมื่อ Δt คือ ช่วงเวลาสั้น ๆ, h

M_i คือ ความชื้นเริ่มต้น, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

M_f คือ ความชื้นสุดท้าย, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

m_p คือ มวลแห้งของวัสดุ, kg

W_i คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่เข้าห้องอบแห้ง, $\text{kg}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$

W_f คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่ออกจากห้องอบแห้ง, $\text{kg}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$

ในทำนองเดียวกันเมื่อทำสมดุลพลังงานที่ปริมาตรควบคุมที่ 1 (CV-1) ของชั้นอบแห้ง โดยมีการหุ้มฉนวนที่ผนังของเครื่องอบแห้งอย่างดี ไม่มีการอัดตัวของอากาศชื้น ทำให้ไม่มีการยุบตัวของอากาศ และอุณหภูมิเริ่มต้นของไม้แปรรูปและเครื่องอบแห้งเท่ากับอุณหภูมิอบแห้ง จะได้ว่าผลรวมของการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของลมร้อนเท่ากับการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของไอน้ำในลมร้อน ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังสมการ (3.12)

$$(\dot{m}_a C_a T_i) + (\dot{m}_a W_i h_{fg}) + (\dot{m}_a W_i C_v T_i) = (\dot{m}_a C_a T_f) + (\dot{m}_a W_f h_{fg}) + (\dot{m}_a W_f C_v T_f)$$

หรือ

$$T_f = \left[(\dot{m}_a C_a T_i) + (\dot{m}_a W_i h_{fg}) + (\dot{m}_a W_i C_v T_i) - (\dot{m}_a W_f h_{fg}) \right] / \left[(\dot{m}_a C_a) + (\dot{m}_a W_f C_v) \right] \quad (3.12)$$

เมื่อ T_i คือ อุณหภูมิของอากาศที่เข้าห้องอบแห้งหรือเป็นอุณหภูมิอบแห้ง, °C

T_f คือ อุณหภูมิอากาศที่ออกจากห้องอบแห้ง, °C

C_a คือ ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง, $\text{kJ}/\text{kg}_{\text{dry air}} \text{ } ^\circ\text{C}$

C_v คือ ความจุความร้อนจำเพาะของไอน้ำ, $\text{kJ}/\text{kg}_{\text{water}} \text{ } ^\circ\text{C}$

โดยที่ $T_i = T_{\text{Heater}}$ เนื่องจากอุณหภูมิลมร้อนที่ผ่านพัดลมไม่มีการสูญเสียความร้อนหรือได้รับความร้อน

ในการเพิ่มหรือลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้งให้ได้ตามที่ต้องการ โดยระบบจะพิจารณาความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เข้า (RH) ว่าเท่ากับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ต้องการ (RH) หรือไม่ ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เข้าน้อยกว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ต้องการจะทำการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์โดยการเติมน้ำ (Steam) เข้าไปในระบบเพื่อเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและในกรณีที่ต้องการลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะทำได้โดยการดึงความชื้นออกจากอากาศด้วยระบบความเย็น (Refrigerant) เพื่อลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

การคำนวณความชื้นเฉลี่ยของไม้แปรรูปอบแห้งที่เวลาใดๆ หากจากสมการจลนศาสตร์ของการอบแห้งสำหรับวัสดุทรงก้อนอิฐ (Brick) ทำการหาอนุพันธ์เทียบกับเวลา โดยใช้จำนวน 122 เทอม ได้ดังสมการ (3.13)

$$MR = \left[\frac{M_t}{M_{in}} \right] = \left[\frac{8}{\pi^2} \right]^3 \sum_{i=0}^{\alpha} \sum_{j=0}^{\alpha} \sum_{k=0}^{\alpha} \left[\frac{1}{(2i+1)^2} \cdot \frac{1}{(2j+1)^2} \cdot \frac{1}{(2k+1)^2} \right] \exp \left[- \left[\frac{(2i+1)^2}{I_x^2} + \frac{(2j+1)^2}{I_y^2} + \frac{(2k+1)^2}{I_z^2} \right] \pi^2 D t \right] \quad (3.13)$$

เมื่อ M_t คือ ความชื้นของไม้แปรรูปที่เวลาใดๆ, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง หรือ

$$MR = \left[\frac{8}{\pi^2} \right]^3 \left\{ \exp \left[- \left[\frac{1}{I_x^2} + \frac{1}{I_y^2} + \frac{1}{I_z^2} \right] \pi^2 D t \right] + [0.111] \exp \left[- \left[\frac{1}{I_x^2} + \frac{1}{I_y^2} + \frac{9}{I_z^2} \right] \pi^2 D t \right] + [0.04] \exp \left[- \left[\frac{1}{I_x^2} + \frac{1}{I_y^2} + \frac{25}{I_z^2} \right] \pi^2 D t \right] + \dots + [2.105 \times 10^{-10}] \exp \left[- \left[\frac{1681}{I_x^2} + \frac{1681}{I_y^2} + \frac{1681}{I_z^2} \right] \pi^2 D t \right] \right\} \quad (3.14)$$

ทำการอนุพันธ์สมการ (3.14) เทียบกับเวลา (t) จะได้สมการ (3.15)

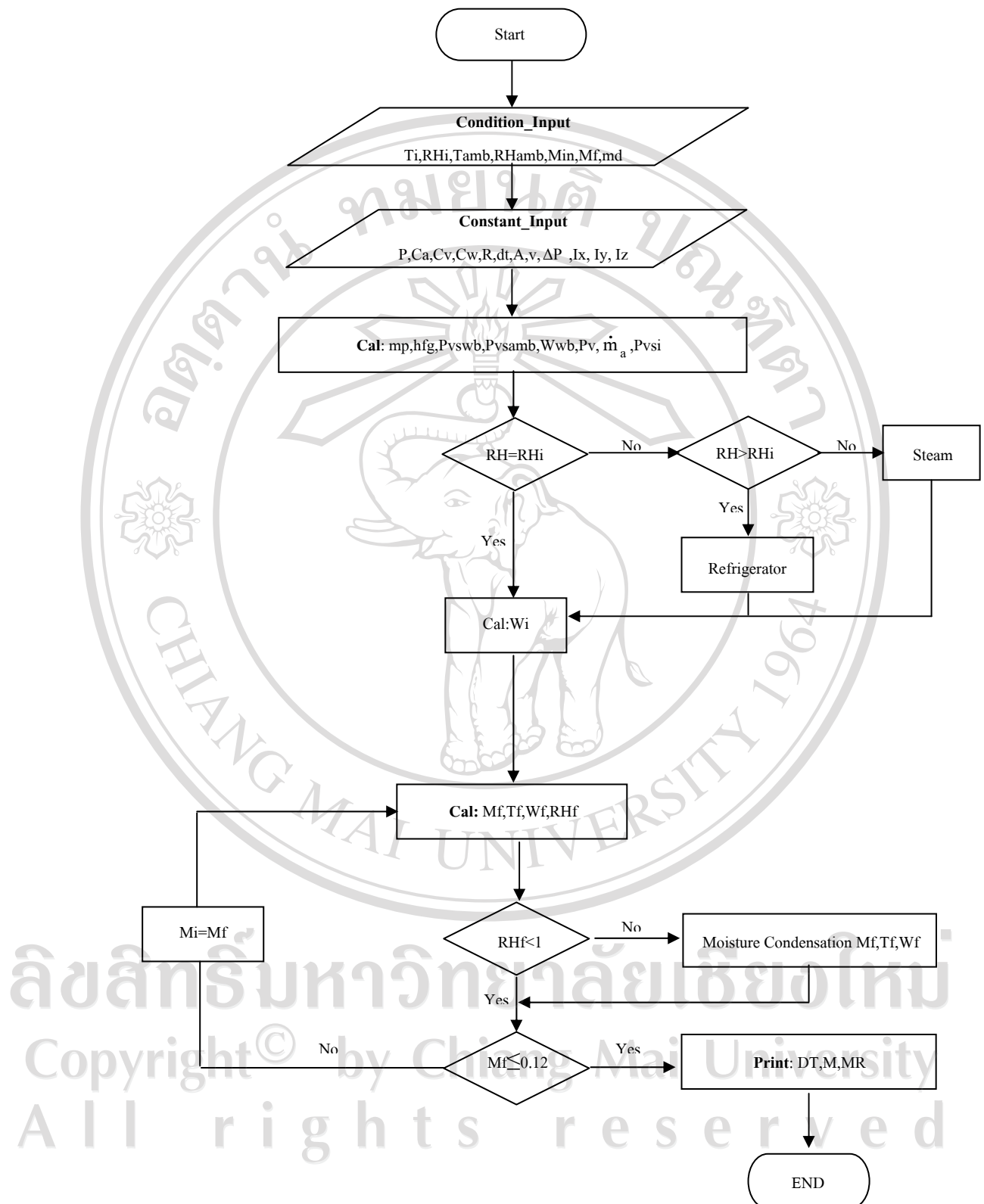
$$\frac{dM}{dt} = \left[\frac{M_{in}}{\pi^2} \right]^3 \left[- \left[\frac{1}{I_x^2} + \frac{1}{I_y^2} + \frac{1}{I_z^2} \right] \pi^2 D \right] \left\{ \exp \left[- \left[\frac{1}{I_x^2} + \frac{1}{I_y^2} + \frac{1}{I_z^2} \right] \pi^2 D t \right] + \exp \left[- \left[\frac{1}{I_x^2} + \frac{1}{I_y^2} + \frac{9}{I_z^2} \right] \pi^2 D t \right] + \exp \left[- \left[\frac{1}{I_x^2} + \frac{1}{I_y^2} + \frac{25}{I_z^2} \right] \pi^2 D t \right] + \dots + \right\}$$

$$\exp\left[-\left[\frac{1681}{I_x^2} + \frac{1681}{I_y^2} + \frac{1681}{I_z^2}\right]\pi^2 D t\right] \} \quad (3.15)$$

และใช้วิธี Finite Difference ได้ความขึ้นเฉลี่ยของไม้แปรรูปหลังการอบแห้งที่เวลาใดๆ สามารถคำนวณได้ดังสมการ (3.16)

$$\begin{aligned} M_f = M_i + \Delta t & \left[M_{in} \left[\frac{8}{\pi^2} \right]^3 \left[-\left[\frac{1}{I_x^2} + \frac{1}{I_y^2} + \frac{1}{I_z^2} \right] \pi^2 D \right] \left\{ \exp\left[-\left[\frac{1}{I_x^2} + \frac{1}{I_y^2} + \frac{1}{I_z^2} \right] \pi^2 D t\right] + \right. \right. \\ & \exp\left[-\left[\frac{1}{I_x^2} + \frac{1}{I_y^2} + \frac{9}{I_z^2} \right] \pi^2 D t\right] + \exp\left[-\left[\frac{1}{I_x^2} + \frac{1}{I_y^2} + \frac{25}{I_z^2} \right] \pi^2 D t\right] + \dots + \\ & \left. \left. \exp\left[-\left[\frac{1681}{I_x^2} + \frac{1681}{I_y^2} + \frac{1681}{I_z^2} \right] \pi^2 D t\right] \right\} \right] \end{aligned} \quad (3.16)$$

เมื่อ M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง



รูป 3.5 Flow chart แสดงการคำนวณในแบบจำลองคณิตศาสตร์ของการอบแห้งไม้แปรรูป

3.6 อิทธิพลของอุณหภูมิความร้อน และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งที่มีผลต่อเวลาการอบแห้งไม้แปรรูป

1. นำข้อมูลการลดลงของความชื้นที่ได้จากการทดลองการอบแห้งไม้แปรรูป ทั้ง 3 ชนิด ในแต่ละสภาวะการทดลอง มาคำนวณหาอัตราส่วนความชื้น โดยใช้สมการ (2.10)
2. นำข้อมูลของอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการคำนวณ ดังกล่าวข้างต้นมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นเทียบกับเวลาการอบแห้ง
3. วิเคราะห์อิทธิพลของอุณหภูมิความร้อน และความชื้นสัมพัทธ์ที่มีผลต่อเวลาการอบแห้งได้จากกราฟ